1A

УДК 629.735.083.06

Аль-Аммори Али, Аль-Аммори Хасан
Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина
Киевский национальный университет технологий и дизайна, г. Киев, Украина
Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1

Методика оценки эффективности видов информационного резервирования информационно-управляющих систем

Al-Ammouri Ali, Al-Ammouri Hasan
National Transport University, c. Kyiv, Ukraine
Kyiv National University of Technologies and Design, c. Kyiv, Ukraine
Ukraine, 01010, Kyiv, Sovorov st, 1

Method of Evaluating the Effectiveness of the Information Reservations of Informative and Control Systems

Аль-Амморі Алі, Аль-Амморі Хасан
Національний транспортний університет, м. Київ, Україна
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна
Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1

Методика оцінки ефективності видів інформаційного резервування інформаційно-керуючих систем

Изложены основные способы повышения достоверности информации в информационно-управляющих системах (ИУС) методами параллельного, последовательного и комбинированного информационного резервирования. Получены обобщенные математические модели параллельного, последовательного и комбинированного информационного резервирования ИУС и его влияния на процесс принятия решения, снятия отрицательных явлений, таких как необнаружение ситуации и ложная тревога.
Ключевые слова: эффективность, надежность и достоверность информации.

The basic ways to improve the reliability of the information in the informative and control systems (ICS) by the methods of parallel, sequential and combined information reservation are given. The generalized mathematical model of parallel, sequential and combined information redundancy of ICS and its impact on decision-making process, removal of negative events, such as not detected and false alarm situations.
Key words: efficiency, reliability and accuracy of information.

Викладено основні способи підвищення достовірності інформації в інформаційно-керуючих системах (ІУС) методами паралельного, послідовного та комбінованого інформаційного резервування. Отримано узагальнені математичні моделі паралельного, послідовного та комбінованого інформаційного резервування ІУС та його впливу на процес прийняття рішення, зняття негативних явищ, таких як невиявлення ситуації і помилкова тривога.
Ключові слова: ефективність, надійність і достовірність інформації.

Введение

Известно, что эффективность и качество функционирования информационно-управляющих систем (ИУС) существенно зависит от достоверности информации, которая поступает на вход управляемых вычислительных систем, от различного рода

измерителей (так называемых источников информации), которые контролируют состояние и параметры функционирования ИУС. Как точность, так и достоверность контролируемой информации можно существенно повысить путем ее статистической обработки, если подавать на вычислительные управляемые системы информацию одновременно от нескольких источников информации (ИИ), подключаемых параллельно. Такой способ ввода информации называют параллельным информационным резервированием, который, в принципе, позволяет существенно повысить точность и достоверность контролируемой информации, которая поступает от некачественных и технически ненадежных ИИ.

Цель статьи – обеспечение эффективности источников информации с помощью различных способов информационного резервирования информационно-управляющих систем.

1 Условия повышения достоверности, поступающей от n датчиков

Под источником информации будем понимать датчик или измеритель контролируемого параметра сложного устройства или системы. Такой источник информации можно представить как симметричный канал передачи информации [1], как это показано на рис. 1, когда вероятности правильного обнаружения наличия или отсутствия признака контролируемого параметра (например температуры, токи короткого замыкания и т.п.) равны и имеют значение a.

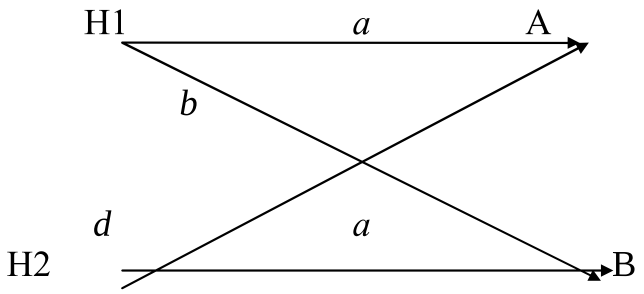


Рисунок 1 – Симметричный канал передачи информации

На (рис. 1) через H_1 и H_2 обозначены гипотезы появления или отсутствия контролируемого датчиком явления, через A и B обозначена индикация его появления или отсутствия соответственно на выходе, через b и d обозначены вероятности ложной тревоги и необнаружения контролируемого признака. Поскольку канал симметричен, то $a = b$.

Достоверность информации отдельных ИИ, определяемую вероятностями a, b, d, можно повысить, по крайней мере, двумя способами:

1 – посредством увеличения числа n ИИ, и при этом будет увеличиваться вероятность p_{1n} правильного обнаружения контролируемого признака и, соответственно, снижаться вероятность p_{3n} и p_{2n} ложной тревоги и необнаружения контролируемого признака системой из n ИИ.

2 – если один и тот же ИИ запрашивается k раз с определенным интервалом времени t_0, то, очевидно, вероятность p_{1k} правильного обнаружения контролируемого признака после k-го запроса также будет повышаться, а вероятности p_{3k} (ложной тревоги) и p_{2k} (необнаружения) будут снижены.

Оба способа можно объединить, представив совокупность n ИИ, каждый из которых запрашивается k раз, в виде матрицы $|D|$.

$$D_{ij} = \begin{vmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1k} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{k1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \cdots & u_{nk} \end{vmatrix}.$$

В матрице $|D|$ число строк соответствует числу n ИИ, т.е. число строк определяется пространственным или параллельным резервированием. Число столбцов k определяет число последовательных запросов одного и того же ИИ, т.е. число столбцов определяется временным или последовательным информационным резервированием. Элемент матрицы D_{ij} представляет собой i-й ИИ, который последовательно запрашивается j раз.

Применение некоррелированных k съемов данных от одного и того же ИИ в информационной системе, состоящей из n ИИ, равносильно увеличению системы на число $N_э$ эквивалентных датчиков, определяемое формулой $N_э = n(k-1)$.

Если при этом учесть стоимость (C) одного ИИ, то несложно оценить экономическую эффективность $Э_ф = C \cdot n(k-1)$ последовательного информационного резервирования.

Необходимо также учесть реальные ограничения на реализацию обоих способов повышения достоверности информации. Для первого способа ограничением является увеличение материальных затрат, связанных с увеличением числа n ИИ. Для второго способа ограничением является время старения информации, которое зависит от быстротечности управляемых процессов. Для этого способа ограничением является также время корреляции между случайными сбоями или самоустраняющимися техническими отказами запрашиваемого ИИ, которое не должно превышать временной интервал между двумя съемами информации от одного и того же ИИ. Тем не менее, можно полагать, что в конкретной ситуации существуют резервы как по n (параллельному резервированию), так и по k (последовательному резервированию), которые позволяют существенно повысить достоверность информации.

2 Повышение достоверности информации способом параллельного информационного резервирования

Существующие информационные системы сигнализации, датчики первичной информации обладают нечетким порогом срабатывания. Вследствие этого информация от реального датчика всегда поступает с определенной степенью достоверности, которую можно охарактеризовать тремя вероятностными состояниями [2]:

a – вероятность правильного обнаружения события;

b – вероятность ложной тревоги;

d – вероятность необнаружения события.

Такая система вероятностных состояний достаточно полно описывается триноминальным распределением [2], которое является расширением биноминального распределения.

Вероятность $P_{(n-m,m-k,k)}$ того, что из n датчиков k из них вообще не обнаружат контролируемого явления, m-k датчиков срабатывают с ложной тревогой и n-m пода-

дут правильную информацию о контролируемом явлении, описывается следующим выражением [2]:

$$P_{(n-m,m-k,k)} = C_n^{n-m} a^{n-m} C_m^{m-k} b^{m-k} d^k , \quad (1)$$

причем

$$a + b + d = 1. \quad (2)$$

Вероятностные характеристики *an, bn* и *dn* для *n* параллельно зарезервированных источников информации можно определить из триномиального распределения.

Если ввести мажоритарный принцип, согласно которому информация принимается только тогда, когда не менее *Q* источников утверждает о наличии контролируемого признака, то из выражения триноминального распределения [2], [3], легко вывести зависимости (3), определяющие вероятность *a(n,Q)* правильного обнаружения контролируемой информации, а также вероятности *b(n,Q)* и *d(n,Q)* ложной тревоги и необнаружения соответственно:

$$\left.\begin{aligned} a_{n,Q} &= 1-(b+d)^n = \sum_{v=1}^{Q-1} C_n^v a^v \sum_{w=0}^{Q+v} C_{n-v}^w b^w d^{n-v-w}; \\ b_{n,Q} &= \sum_{w=Q}^{n} C_n^w b^w d^{n-w}; \\ d_{n,Q} &= \sum_{v=0}^{Q-1} C_n^v a^v \sum_{w=0}^{Q-v-1} C_{n-v}^w b^w d^{n-v-w}. \end{aligned}\right\}. \quad (3)$$

где *v* – число источников, дающих правильную информацию о контролируемом признаке; *w* – число источников, дающих ложную информацию о контролируемом признаке.

Для $Q=1$ и при условии $b+d=1-a$ выражения (3) существенно упрощаются:

$$\left.\begin{aligned} a_{n,1} &= 1-(1-a)^n; \\ b_{n,1} &= (1-a)^n - d^n; \\ d_{n,1} &= d^n. \end{aligned}\right\}. \quad (4)$$

Наиболее эффективным принципом параллельного резервирования является мажоритарный принцип, согласно которому наиболее достоверной информация, поступающая от *n* ИИ, будет тогда, когда не менее *m* из *n* ИИ подтверждают ее достоверность и необходимо при этом, чтобы между *m* и *n* выполнялось соотношение $m \approx n/2$.

Можно показать, что при $Q=1$ вероятности $a(n,1)$ и $b(n,1)$ будут иметь максимальное значение для заданного *n*, а вероятность $d(n,1)$ будет минимальной. С увеличением *Q* вероятности $a(n,Q)$ и $b(n,Q)$ уменьшаются, а вероятность $d(n,Q)$ будет соответственно увеличиваться. Например, для $Q=2$ вероятности $a(n,2)$, $b(n,2)$ и $d(n,2)$ оцениваются соответственно следующими зависимостями:

$$\left.\begin{aligned} a(n,2) &= 1-(1-a)^n - na\,d^{n-1} \\ b(n,2) &= (1-a)^n - d^n - nb\,d^{n-1} \\ d(n,2) &= d^n + nb\,d^{n-1} + na\,d^{n-1} \end{aligned}\right\}.$$

Если источники информации разные, то формулы (4) легко трансформируются в следующие выражения:

$$\left.\begin{aligned} a(n,1) &= 1-\prod_{i=1}^{n}(1-a_i) \\ b(n,1) &= \prod_{i=1}^{n}(1-a_i)-\prod_{i=1}^{n}d_i \\ d(n,1) &= \prod_{i=1}^{n}d_i \end{aligned}\right\}.$$

3 Исследование возможностей повышения достоверности информации способом последовательного резервирования

Если один и тот же источник информации запрашивать периодически с определённым интервалом времени, превышающим время корреляции между случайными воздействиями, и запоминать выдаваемую им информацию, то согласно теореме Бейса можно существенно повысить вероятность $a_Б$ правильного обнаружения и снизить вероятности $b_Б$ ложной тревоги и необнаружения $d_Б$ соответственно. Как это показано на формулах:

$$\left.\begin{aligned} P_{1б} &= \frac{\alpha\cdot a}{\alpha\cdot a+(1-\alpha)b} \\ P_{2б} &= \frac{\alpha\cdot d}{(1-\alpha)\cdot a+\alpha\cdot d} \\ P_{3б} &= \frac{(1-\alpha)\cdot b}{\alpha\cdot a+(1-\alpha)\cdot b} \end{aligned}\right\}. \quad (5)$$

Введём дополнительные обозначения:

$$\beta = \frac{1-\alpha}{\alpha},\ \gamma = \frac{b}{a} = \frac{d}{a}. \quad (6)$$

Коэффициент β показывает отношение априорных вероятностей гипотез H_2 и H_1 соответственно. Коэффициент γ определяет качество источников информации.

С учётом обозначений (6) выражения (5) можно упростить:

$$P_{1б} = \frac{1}{1+\beta\gamma},\ P_{2б} = \frac{\gamma}{\beta+\gamma},\ P_{3б} = \frac{\beta\gamma}{1+\beta\gamma}. \quad (7)$$

Можно показать, что при k повторных последовательных запросах одного и того же источника согласно теореме Бейса [2] вероятности $a_Б(k)$, $b_Б(k)$ и $d_Б(k)$ определяются следующими выражениями:

$$P_{1б}(k) = \frac{1}{1+\beta\gamma^k},\ P_{2б}(k) = \frac{\beta\cdot\gamma^k}{1+\beta\gamma^k},\ P_{3б}(k) = \frac{\gamma^k}{\beta+\gamma^k}. \quad (8)$$

Можно также показать, что с увеличением числа К бейсовские вероятности (8) слабо зависят от отношения априорных вероятностей и существенно зависят от качества γ источников информации, при очень низком качестве которых $\gamma = 1$ апостериорные вероятности $a_Б(k)$, $b_Б(k)$ и $d_Б(k)$ будут всегда равны априорным α, $(1-\alpha)/2$

независимо от числа К последовательных запросов. Говоря другими словами, при $\gamma = 1$ система из К последовательных запросов будет работать вхолостую. Однако, не надо спешить с выводами. Если γ будет только незначительно меньше 1, то, как показывает исследование формул (8), достоверность информации достаточно быстро повышается с увеличением числа К последовательных запросов. Таким образом, можно утверждать, что слабые сведения об априорных вероятностях, которые зачастую имеют место на практике, а также достаточно низкое качество источников информации существенно компенсируется увеличением числа последовательных запросов.

Аналогично, можно утверждать, что при параллельном резервировании число n параллельно подключенных источников обеспечивает существенное повышение достоверности информации при его увеличении.

Эффективность всяких систем оценивается способом сравнения. Введем коэффициенты сравнения L_{a1}, L_{b1}, L_{d1} двух методов информационного резервирования на основе формулы (8) как отношение вероятностей $P1(n)$ и $P1бk$, $P2(n)$ и $P2бk$, $P3(n)$ и $P3бk$ для параллельного и последовательного резервирования соответственно:

$$\left.\begin{aligned} L_{a1} &= \frac{P_{1бk}}{P_{1(n)}} = \frac{1}{[1-(1-a)^n](1+\beta\gamma^k)} \\ L_{d1} &= \frac{P_{2бk}}{P_{2(n)}} = \frac{\gamma^k}{d^n(\beta+\gamma^k)} \\ L_{b1} &= \frac{P_{3бk}}{P_{3(n)}} = \frac{\beta\gamma^k}{[(1-a)^n - d^n](1+\beta\gamma^k)} \end{aligned}\right\}. \quad (9)$$

Выражения (9) определяют соответственно отношение L_{a1} вероятностей $P_{1б(k)}$ и $P_{1(n)}$ достоверной информации, отношение L_{d1} вероятностей $P_{2б(k)}$ и $P_{2(n)}$ необнаружения и отношение L_{b1} вероятностей $P_{3б(k)}$ и $P_{3(n)}$ ложной тревоги для последовательного и параллельного резервирования при индексе мажоритарности *Q = 1* («хотя бы один раз»).

Если ввести *Q = 2* («не менее двух подтверждающих сообщений») для параллельного резервирования, то можно найти аналогичные коэффициенты отношения L_{a2}, L_{d2}, L_{b2} с помощью следующих выражений:

$$\left.\begin{aligned} L_{a2} &= \frac{P_{1б(k)}}{P_{1(n)}} = \frac{1}{\left[1-(1-a)^n - n\cdot a\cdot d^{n-1}\right](1+\beta\cdot\gamma^k)} \\ L_{d2} &= \frac{P_{2б(k)}}{P_{2(n)}} = \frac{\gamma^k}{(d^k + k\cdot b\cdot d^{k-1} + k\cdot a\cdot d^{k-1})\cdot(\beta+\gamma^k)} \\ L_{b2} &= \frac{P_{3б(k)}}{P_{3(n)}} = \frac{\beta\cdot\gamma^k}{[(1-a)^n - d^n - n\cdot b\cdot d^{n-1}]\cdot(1+\beta\cdot\gamma^k)} \end{aligned}\right\}. \quad (10)$$

Формулы (10) выведены при исходных условиях *d = b = (1-a)/2*. Анализ математических зависимостей показывает что:

– при последовательном информационном резервировании вероятность p_2 необнаружения выше, а вероятность p_3 ложной тревоги ниже, чем при параллельном;

– вероятности p_2 и p_3 незначительно, но улучшаются с повышением качества ИИ;

– вероятности p_2 и p_3 существенно уменьшаются с увеличением числа *k* последовательных съемов информации.

– в целом можно заметить, что последовательное информационное резервирование более эффективно снижает вероятность ложной тревоги по сравнению с параллельным резервированием;

– проведенные исследования дают основания полагать, что комбинация параллельного и последовательного информационного резервирований даст обнадеживающие результаты в смысле снижения системных вероятностей p_2, p_3 необнаружения и ложной тревоги.

Литература

1. Темников Ф.Е. Теоретические основы информационной техники / Ф.Е. Темников, В.А. Афонин, В.И. Дмитриев. – М. : Энергия, 1971. – 410 с.
2. Справочник по вероятностным расчетам / [Т.Т. Абезгаус, А.П. Тронь, Ю.Н. Копенкин и др.]. – М. : Воениздат, 1989. – 656 с.

Literatura

1. Temnikov F.E. Teoreticheskie osnovy informacionnoj tehniki. M.: Jenergija. 1971. 410 s.
2. Abezgaus T.T. Spravochnik po verojatnostnym raschetam. M.: Voenizdat. 1989. 656 s.

REZUME

Al-Ammouri Ali, Al-Ammouri Hasan

Method of Evaluating the Effectiveness of the Information Reservations of Informative and Control Systems

It is known that the efficiency and quality of informative and control systems (ICS) performance greatly depends on the accuracy of information supplied to the input of managed computing systems, on sources of information, which control the status and process of technological progress.

Real detectors have a final precision representation of the information under their control. The accuracy and reliability of information is defined as the design features and technical reliability of the sensors and as a rule does not meet or slightly meets the accuracy and reliability of the information supplied to the inputs of the computer process control systems.

It is known that the accuracy and reliability of the controlled information can be significantly improved by its statistical processing, if submitted to the computing system managed by the information simultaneously from multiple sensors to be connected in parallel or on the same sensor in series with the ramp. Such methods are called input, respectively parallel and serial redundant information, which in principle can significantly improve the accuracy and reliability of the controlled information from low-quality and technically unreliable sensors.

However, either parallel or sequential information redundancy carry a number of problems, especially the cost of a system of sensors that are connected in parallel or aging time information and technical reliability of sensors, information from which is reading sequentially in time.

In this work we propose a method of evaluation to improve the accuracy and reliability of information in parallel and sequential information redundancy with the problems given above.

Стаття надійшла до редакції 06.07.2012.